

На правах рукописи

КУЛАГИН АНДРЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И СОКРАЩЕНИЕ ПОТЕРЬ
БЕНЗИНОВ ОТ ИСПАРЕНИЯ ИЗ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ
ПОДЗЕМНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ АЗС**

Специальность 25.00.19 – «Строительство и эксплуатация
нефтегазопроводов, баз и хранилищ»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Уфа - 2003

Работа выполнена в Уфимском государственном нефтяном техническом университете.

Научный руководитель	доктор технических наук, профессор Коршак Алексей Анатольевич.
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор Прохоров Александр Дмитриевич; кандидат технических наук Гиззатов Марат Аузахович.
Ведущая организация	ООО «Пенза-Терминал» НК «ЮКОС»

Защита диссертации состоится «27» июня 2003 года в 11-30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.289.04 при Уфимском государственном нефтяном техническом университете по адресу: 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Автореферат разослан «27» мая 2003 года

Ученый секретарь
диссертационного совета

Матвеев Ю.Г.

Актуальность темы. Борьба с потерями нефтепродуктов - один из важных путей экономии топливно-энергетических ресурсов, играющих ведущую роль в развитии экономики.

Существенный источник экономии нефтяных ресурсов - устранение потерь при их добыче, переработке, транспортировании и хранении. По оценкам специалистов, только за счет этого можно получить до 20 % всей экономии топливно-энергетических ресурсов.

Основным видом потерь нефти и нефтепродуктов, полностью не устранимых на современном уровне развития средств транспорта и хранения углеводородов, являются потери от испарения из резервуаров и других емкостей (авто- и железнодорожных цистерн, топливных баков автомобилей и др.).

Ущерб, наносимый этими потерями, состоит не только в уменьшении топливных ресурсов и стоимости теряемых продуктов, но и в отрицательных экологических последствиях, которые являются результатом загрязнения окружающей среды нефтепродуктами. Поэтому борьба с потерями нефтепродуктов дает не только экономический эффект, но и жизненно важна для обеспечения охраны природы.

Отрицательное влияние автозаправочных станций на окружающую среду, по сравнению с другими хранилищами нефтепродуктов, проявляется в большей степени. Это связано с тем, что, с одной стороны, АЗС размещаются в крупных городах с высокой плотностью застройки и значительной концентрацией автотранспорта, а с другой – с тем, что выбросы из них происходят на высоте всего 2 ... 3 м над землей.

Транспортировка и хранение нефтепродуктов в системе их распределения потребителям производится в менее благоприятных условиях, чем в нефтяной или нефтеперерабатывающей промышленности. При распределении нефтепродуктов их грузопотоки дробятся на небольшие партии, отправляемые автоцистернами на автозаправочные станции, а хранение их производится в относительно небольших резервуарах АЗС. Это ведет к увеличению потерь углеводородов на АЗС по сравнению с использованием трубопроводов большого диаметра и крупных резервуаров.

Организация экономии нефтепродуктов предполагает систематическое всестороннее изучение, выявление, планомерное снижение и устранение разного рода их потерь на всех стадиях движения к потребителю.

Теоретическим и экспериментальным исследованиям процесса испарения нефтепродуктов, разработке методики расчета потерь, обоснованию методов и средств сокращения их из резервуаров посвящены работы Ф.Ф. Абузовой, М.И. Ашкенази, С. Бейсора, Н.И. Белокопя, И.С. Бронштейна, И.Г. Блинова, В.А. Бунчука, Р. Велдона, В.Ф. Вохмина, В.Б. Галеева, Д. Гаммела, А.М. Гизатова, Х. Джаггера, В.Ф. Евтихина, С.Г. Едигарова, К.В. Елшина, Н.Н. Константинова, А.А. Коршака, В.Ф. Новоселова, А.Д. Прохорова, И.А. Чарного, В.И. Черникина и др., однако известные методики имеют ряд недостатков, а имеющиеся системы улавливания легких фракций дороги и сложны.

Целью данной работы являются совершенствование методики оценки потерь бензинов из подземных резервуаров АЗС и повышение экологической безопасности автозаправочных станций на основе разработки системы улавливания паров.

Основные задачи исследования данной диссертационной работы:

1. Экспериментальное исследование динамики испарения бензинов из подземных горизонтальных резервуаров АЗС при операциях заполнения и хранения.
2. Разработка упрощенной методики расчета потерь бензина от испарения из подземных горизонтальных резервуаров АЗС, учитывающей динамику изменения концентрации углеводородов в газовом пространстве.
3. Численное исследование влияния различных факторов на потери бензинов от испарения из резервуаров АЗС.
4. Разработка и проведение испытаний системы улавливания легких фракций для подземных горизонтальных резервуаров АЗС.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. На основе экспериментальных исследований получены критериальные уравнения массоотдачи при хранении и приеме бензинов в подземных горизонтальных резервуарах АЗС.
2. Разработана методика оценки фактических потерь бензинов из подземных горизонтальных резервуаров.
3. Предложена система улавливания легких фракций для подземных горизонтальных резервуаров АЗС с применением «транзитного» резервуара (система УЛФ «АЗС-ТР»).

4. Экспериментально установлена зависимость эффективности разработанной системы УЛФ «АЗС-ТР» от условий ее применения.

На защиту выносятся результаты экспериментальных исследований динамики испарения бензинов в подземных горизонтальных резервуарах АЗС, полученные критериальные уравнения массоотдачи, упрощенная методика прогнозирования потерь бензинов при операциях заполнения резервуаров типа РГС на АЗС, принципиальная схема и результаты испытаний системы улавливания легких фракций для резервуаров автозаправочных станций.

Практическая ценность диссертации состоит в том, что полученные в работе результаты дают возможность:

- использовать предложенную методику и программу расчета фактических потерь бензинов из подземных горизонтальных резервуаров АЗС с целью их количественной оценки;
- использовать предложенную конструкцию системы улавливания легких фракций для подземных горизонтальных резервуаров АЗС с целью сокращения потерь нефтепродуктов от испарения.

Реализация работы

По результатам исследований разработано учебное пособие «Расчет потерь бензинов от испарения из резервуаров типа РВС и РГС», которое используется в ООО «Подольскнефтепродукт», ООО «Пензанефтепродукт» и ОАО «Башкирнефтепродукт», а также в учебном процессе специальности 09.07 - «Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ».

За разработку системы улавливания легких фракций для подземных горизонтальных резервуаров АЗС автор награжден медалью Министерства образования Российской Федерации «За лучшую научную студенческую работу» по итогам открытого конкурса на лучшую научную работу студентов по техническим наукам в вузах РФ (2000 г.), а также дипломом Государственного комитета Республики Башкортостан по делам молодежи за I место в секции «Технические науки» на Республиканском конкурсе научных работ студентов вузов (2000 г.).

Апробация работы

Основные материалы диссертации докладывались на:

- 48-й, 49-й, 50-й, 51-й научно-технических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Уфа, УГНТУ, 1999, 2000, 2001, 2002 гг.);
- Республиканском конкурсе научных работ студентов вузов (г. Уфа, 2000 г.);
- Всероссийском открытом конкурсе студентов по естественным, техническим и гуманитарным наукам в вузах Российской Федерации (2000 г.);
- III Конгрессе нефтегазопромышленников России. Секция «Проблемы нефти и газа» (г. Уфа, 2001 г.);
- Всероссийской научно-технической конференции «Трубопроводный транспорт нефти и газа» (г. Уфа, 2002 г.);
- Международной научно-технической конференции «Трубопроводный транспорт – сегодня и завтра» (г. Уфа, 2002 г.).

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 12 научных работ.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, выводов и рекомендаций, изложена на 163 страницах, содержит 33 рисунка, 14 таблиц. Список использованной литературы содержит 128 наименований.

Основное содержание работы

Во введении сформулированы актуальность темы диссертационной работы, цель и основные задачи исследований, основные положения, выносимые на защиту, характеристика научной новизны, практической ценности и апробации научных результатов.

Первая глава посвящена анализу современного состояния исследований потерь бензинов от испарения из подземных горизонтальных резервуаров АЗС.

Приведена характеристика значений потерь бензинов из резервуаров АЗС при их заполнении как по материалам зарубежных, так и отечественных источников. Однако сведения о численной величине потерь автобензинов от испарения при «больших дыханиях» существенно различны.

Одними из основных параметров, определяющих величину потерь бензинов из горизонтальных стальных резервуаров АЗС, являются температуры бензина и газового пространства в них.

При исследовании температурного режима все авторы отмечают полное отсутствие потерь от «малых дыханий» вследствие изотермичности подземных резервуаров, а также возможность не учитывать потери от «обратного вдоха» ввиду их незначительности, в связи с чем при расчете потерь бензинов из резервуаров АЗС можно учитывать только потери от «больших» дыханий.

Методики расчета потерь бензинов от испарения из подземных резервуаров АЗС были предложены рядом авторов, однако большинство методик либо требовали использования исходных данных, получаемых в результате непосредственных замеров на АЗС, либо не учитывали особенностей эксплуатации резервуаров АЗС, либо носили приближенный характер.

Наиболее приемлемой на сегодняшний день является методика, предложенная Гиззатовым М.А., на основе развития методики Абузовой Ф.Ф.

Анализ методики расчета потерь бензинов из подземных резервуаров типа РГС, разработанной Гиззатовым М.А., и результатов расчетов по ней показал следующее:

- ее применение для расчета каких-либо потерь за операцию невозможно без знания данных о предыдущих операциях;
- данная методика является весьма сложной для применения;
- при описании процесса насыщения газового пространства в случаях опорожнения резервуара и его заполнения открытой струей авторы методики используют эффективный коэффициент диффузии, характеризующий турбулизацию ПВС и поверхности испарения, однако в случае заполнения резервуара закрытой струей они пользуются обычным коэффициентом молекулярной диффузии, который никак не учитывает турбулизацию жидкости.

Таким образом, на основе анализа существующих методик можно сделать вывод о необходимости разработки новой методики расчета потерь, которая будет учитывать фактический механизм испарения бензина в резервуарах типа РГС, будет относительно проста в применении, и не будет базироваться на параметрах, получаемых в результате непосредственных замеров. Это, в свою очередь, предполагает необходимость экспериментального изучения массоотдачи от поверхности бензина в подземных горизонтальных цилиндрических резервуарах.

Несмотря на довольно значительные потери бензина от испарения, резервуары АЗС, как правило, не имеют никаких средств сокращения потерь, кроме дыхательных клапанов. Применять понтоны в них нельзя, т.к. с изменением уровня жидкости в резервуаре площадь зеркала ее поверхности также существенно изменяется. Опыт применения дисков-отражателей в таких резервуарах ограничен.

В проектах АЗС сегодня в качестве средств, уменьшающих выбросы, используются газоуравнительные системы. Однако специфика работы резервуаров АЗС заключается в том, что их заполнение осуществляется из автоцистерн относительно большого объема, а опорожнение - круглосуточно объемами, в сотни раз меньшими, чем объемы автоцистерн. По этой же причине коэффициент совпадения операций закачки-выкачки у резервуаров АЗС близок к нулю.

В условиях автозаправочных станций наиболее предпочтительным средством сокращения выбросов паров бензина в атмосферу являются системы улавливания легких фракций (УЛФ). Существует несколько основных методов улавливания легких фракций: адсорбция, абсорбция, конденсация путем охлаждения, компримирование, а также комбинированные методы.

Адсорбционные и абсорбционные системы УЛФ не получили широкого применения на практике из-за значительных дополнительных затрат на регенерацию соответственно адсорбента и абсорбента, а также на автоматизацию процесса рекуперации.

Конденсационные системы УЛФ на основе охлаждения ПВС (до умеренных температур) не позволяют добиться высокой степени улавливания углеводородов и весьма дороги.

Применение компрессорных систем УЛФ целесообразно при больших расходах парогазовой смеси. Достоинствами эжекторных установок являются простота и надежность. Однако они имеют низкий КПД, не превышающий 0,4.

Совместные газовые обвязки или газоуравнительные системы резервуаров и автомобильных цистерн в нашей стране не используются из-за технических трудностей по оборудованию автоцистерн дополнительными муфтами и клапанами, а также из-за отсутствия регенерационных установок по конденсации паров бензинов на нефтебазах, куда автоцистерны приходят под налив продукта.

Таким образом, обзор литературных источников показал, что существующие технические средства сокращения потерь автобензинов либо

не могут быть применены (понтон), либо имеют низкую степень сокращения потерь (диски-отражатели, газоуравнительные системы), либо являются сложными и дорогостоящими (традиционные системы УЛФ). Поэтому необходимо разработать систему улавливания легких фракций для подземных горизонтальных резервуаров АЗС, которая обеспечивала бы высокую степень сокращения потерь бензинов, но не представляла бы собой технически сложную и дорогостоящую систему.

Во второй главе описаны экспериментальные исследования по изучению процессов испарения бензина в подземных горизонтальных резервуарах АЗС.

Исследования заключались в определении величины потерь от испарения при операциях хранения и приема автомобильных бензинов в резервуарах АЗС.

Эксперименты проводились в осенне-зимний и весенне-летний периоды 2000...2002 годов в промышленных условиях на АЗС № 246 и № 36 ОАО «Башкирнефтепродукт» в с. Кушнареново Республики Башкортостан (средняя климатическая зона) на подземных резервуарах типа РГС 25 и РГС 60.

Резервуары сооружены по типовому проекту и в рассматриваемый период использовались для хранения, приема и выдачи бензинов А-76 и Аи-95. Технические характеристики резервуаров следующие: 1) РГС 25: полезная вместимость 25 м³, геометрический объем 26 м³; внутренний диаметр 2,86 м; длина 4,19 м; 2) РГС 60: полезная вместимость 60 м³, геометрический объем 63,7 м³; внутренний диаметр 2,775 м; длина 11,1 м. На резервуарах установлен дыхательный клапан типа СМДК-50 с уставками тарелок клапана давления на избыточное давление в резервуаре 700 Па и клапана вакуума на 100 Па. Засыпка резервуаров песчаная, заглубление в грунт – примерно на 0,3...0,5 м до верхней образующей.

Во время экспериментов бензины доставлялись специализированными автоцистернами с перевалочной нефтебазы на АЗС в с. Кушнареново. Автоцистерны имели емкость от 4,2 до 16,5 м³.

В ходе экспериментов измерялись концентрация углеводородов по высоте газового пространства резервуара – газоанализатором ИГМ-034 с погрешностью измерения не более $\pm 0,5$ %; температура бензина – ртутным термометром; объем вытесняемой паровоздушной смеси из резервуара при заполнении – газовым счетчиком РГ-40 с погрешностью измерения не более \pm

1,5 %. Давление насыщенных паров бензина по паспорту качества изменялось от 40 до 52 кПа, температура начала кипения – от 35 до 40 °С.

Критериальное уравнение для описания процессов массоотдачи при неподвижном хранении бензина в резервуаре представлено в работе в виде следующей функциональной зависимости:

$$Kt_{np} = f_1(\Delta\pi; Sc), \quad (1)$$

где Kt_{np} – безразмерный комплекс (критерий), характеризующий динамику испарения в статике; Sc – число Шмидта; $\Delta\pi$ – модуль движущей силы испарения.

$$Sc = \nu_{nvc} / D_M, \quad (2)$$

где ν_{nvc} – кинематическая вязкость ПВС, м²/с; D_M – коэффициент диффузии, м²/с.

$$\Delta\pi = (c_s - c) / (1 - c_s), \quad (3)$$

где c – средняя концентрация углеводородов в газовом пространстве резервуара; c_s – концентрация насыщенных паров в газовом пространстве резервуара.

Величина Kt_{np} – критерия равна:

$$Kt_{np} = \frac{J_{np}}{\rho_{nvc} \cdot D_M} \cdot \sqrt[3]{\frac{\nu_{nvc}^2 \cdot M_{nvc}}{g \cdot M_y}}, \quad (4)$$

где J_{np} – плотность потока массы испаряющегося в статике вещества, кг/м²·ч; ρ_{nvc} – плотность паровоздушной смеси, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; M_{nvc} – молярная масса ПВС, кг/кмоль; M_y – молярная масса паров бензина, кг/кмоль.

Для установления конкретного вида функции (1) нами были обработаны собственные экспериментальные данные по бензинам А-76, Аи-95 при их

хранении в резервуарах РГС 25 и РГС 60, а также данные Абузовой Ф.Ф. по испарению при хранении бензина А-66 в резервуарах РГС 50 и ЖБР 1000 и данные Гиззатова М.А. по испарению при хранении бензина А-76 в резервуаре РГС 25.

После обработки экспериментальных данных для получения критериального уравнения массоотдачи был использован специальный математический пакет обработки данных «DataFit 8.0». Полученное критериальное уравнение для случая простоя резервуара имеет следующий вид:

$$Kt_{np} = 0,001 \cdot \Delta \pi^{1,116} \cdot Sc^{0,364}. \quad (5)$$

Среднеквадратическая погрешность расчета величины Kt_{np} по формуле (5) составляет 24,5 %.

С целью установления конкретного вида критериального уравнения для описания процесса массоотдачи при заполнении резервуара нами были обработаны собственные данные по испарению бензинов А-76 и Аи-95 в резервуарах типов РГС 25 и РГС 60.

После обработки экспериментальных данных, используя трехфакторную модель, получили следующую зависимость:

$$Kt_3 = Kt_{np} \left(1 + (Fr \cdot Re)^{0,114} \cdot \Delta \pi^{-1,23} \cdot Sc^{-0,585} \right), \quad (6)$$

где $(Fr \cdot Re)$ - комбинированный критерий подобия, характеризующий интенсивность перемешивания бензина.

$$(Re \cdot Fr) = \frac{\omega_{жс}^3}{g \cdot \nu_{жс}}, \quad (7)$$

где $\omega_{жс}$ - характерная скорость перемешивания нефтепродукта в резервуаре при закачке бензина, определяемая с использованием закона сохранения количества движения, м/с; $\nu_{жс}$ - кинематическая вязкость жидкости, м²/с.

Скорость испарения бензинов при заполнении резервуаров выше, чем при неподвижном хранении. Причины этого явления заключаются в том, что при этом происходит перемешивание находящегося в них бензина, а это приводит к турбулизации его поверхности и, соответственно, интенсификации испарения.

Поскольку теоретическое описание процессов, происходящих при заполнении резервуаров, представляет собой очень сложную задачу, то распространение получили эмпирические уравнения массоотдачи с использованием тех или иных критериев подобия.

При заполнении резервуаров степень турбулизации поверхности бензина в известных расчетах предлагается характеризовать числом Рейнольдса, в котором в качестве определяющего размера принят диаметр резервуара, а в качестве определяющей скорости – скорость перемещения уровня бензина в нем. Однако использование в числе Рейнольдса диаметра резервуара практически исключает исследование массоотдачи от поверхности бензина при заполнении модельных емкостей. Скорость же перемещения уровня бензина в резервуаре недостаточно характеризует турбулизацию его поверхности, так как последняя в значительной степени зависит от количества бензина (его текущего уровня) в емкости.

Среднеквадратическая погрешность расчета величины Kt_3 по формуле (6) составляет 29,8 %. Об отклонении расчетных величин Kt_{np} от экспериментальных можно судить по графику, приведенному на рис. 1, на который нанесены расчетные $(Kt_3)_p$ и экспериментальные значения $(Kt_3)_э$. Кроме того, критериальная формула (6) удовлетворяет правилу предельного перехода, то есть при скорости заполнения резервуара, равной нулю, она переходит в формулу (5) для случая простоя резервуара.

Третья глава посвящена разработке методики расчета потерь бензинов из подземных горизонтальных резервуаров АЗС.

При решении теоретических задач всегда желательно получить законченное аналитическое выражение, но при этом оно не должно быть достигнуто путем упрощающих допущений, приводящих в итоге к заметному отклонению результатов расчета от экспериментальных данных. Широкое распространение ЭВМ позволило изменить приоритеты в решении теоретических задач: достаточно расписать систему уравнений, а уж ее решение представляется «делом техники».

Расчет потерь бензинов из заглубленных емкостей за время τ_3 может быть выполнен по очевидной формуле

$$G_g = \rho_y \cdot \int_0^{\tau_3} c_k \cdot Q_{ПВС} \cdot d\tau, \quad (8)$$

где ρ_y - плотность паров углеводородной жидкости при данных термодинамических условиях, кг/м³;

c_k - концентрация углеводородов в паровоздушной смеси (ПВС), выходящей в момент времени τ с расходом $Q_{ПВС}$ через дыхательный клапан.

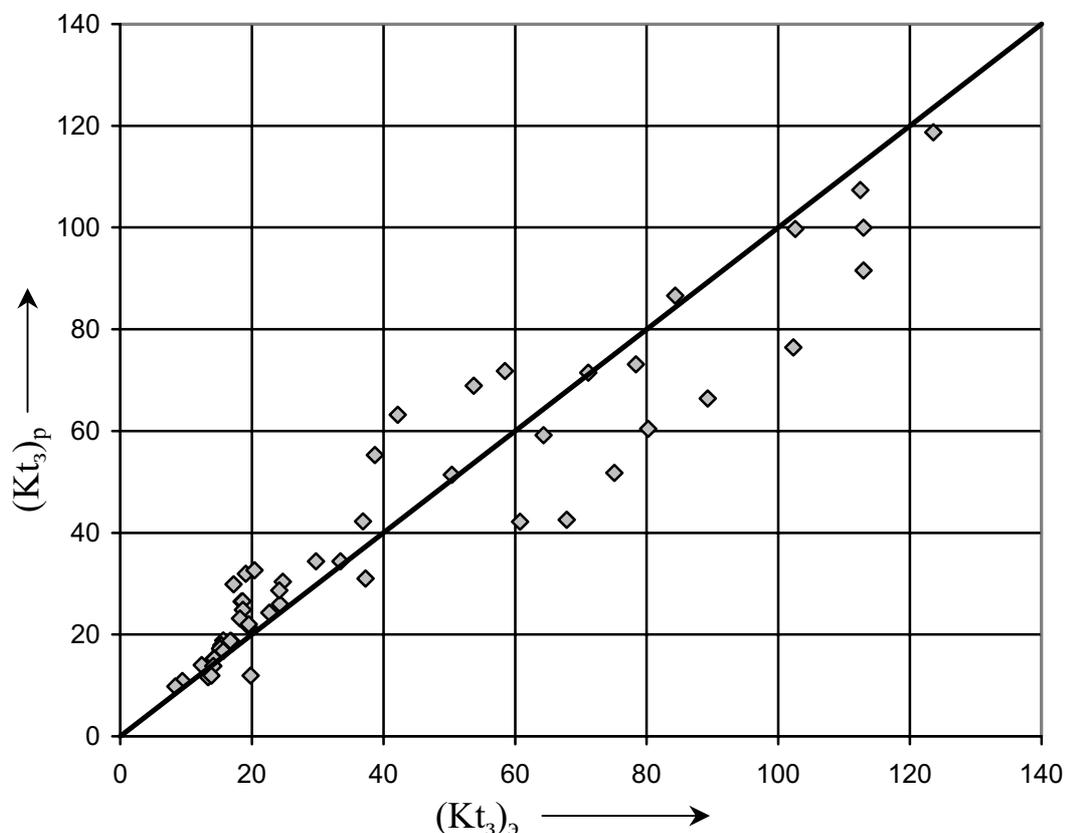


Рис. 1. График отклонений расчетных величин Kt_3 от экспериментальных точек по массоотдаче при заполнении бензином подземных резервуаров типа РГС

Расчет величины $Q_{ПВС}$ ведется на основе уравнения состояния ПВС в газовом пространстве резервуара.

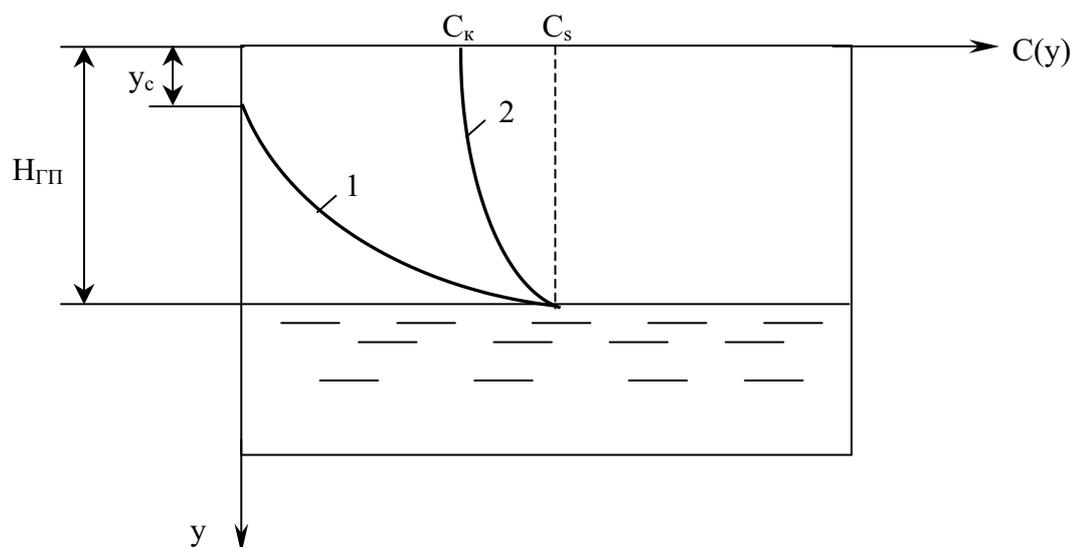
Среднее значение расхода вытесняемой в атмосферу паровоздушной смеси

$$Q_{ПВС} = \bar{\kappa}_{Пз} \cdot Q_3, \quad (9)$$

где Q_3 - расход заполнения резервуара, м³/ч; $\bar{\kappa}_{Пз}$ - среднее значение коэффициента превышения за операцию закачки, которое определяется следующим выражением:

$$\bar{\kappa}_{Пз} = \frac{1}{\tau_6} \int_0^{\tau_6} \left(1 + \frac{J_3 \cdot F}{\rho_{ПВС} \cdot Q_3} \right) d\tau, \quad (10)$$

где τ_6 - время заполнения резервуара; $\rho_{ПВС}$ - плотность ПВС при данных термодинамических условиях; J_3 - плотность потока массы вещества, испаряющегося с поверхности площадью F при заполнении резервуара, определяемая через критериальные уравнения массоотдачи (5), (6).



На рис. 2 показан характер распределения концентрации углеводородов по высоте ГП в первой стадии насыщения (когда их концентрация под кровлей $c_k = 0$), и во второй (когда $c_k > 0$). Это распределение рекомендуется Абузовой Ф.Ф. описывать выражением

$$c(y) = a \cdot y^n + b, \quad (11)$$

где a , b и n – эмпирические коэффициенты.

Рис. 2. Расчетная схема к задаче описания распределения концентрации углеводородов по высоте ГП заглубленной емкости:

1 – первая стадия насыщения; 2 – вторая стадия насыщения

На основе теоретических и экспериментальных исследований Ф.Ф. Абузовой установлено, что в заглубленных резервуарах типа ЖБР $n \approx 2$, а М.А. Гиззатов определил, что для подземных резервуаров типа РГС при заполнении $n \approx 0,9$ в осенне-зимний и $n \approx 1,5$ в весенне-летний периоды, а при хранении и опорожнении во все периоды $n \approx 1,3$. Таким образом, распределение концентраций по высоте будет полностью определено, если выразить величины коэффициентов a и b в произвольный момент времени τ .

Для первой стадии насыщения, используя краевые условия $c(y_c) = 0$ и $c(H_{ГП}) = c_s$, получили

$$a = \frac{c_s}{H_{ГП} - y_c}; \quad b = \frac{c_s}{1 - \left(\frac{H_{ГП}}{y_c}\right)^n}. \quad (12)$$

Неизвестная величина y_c находится через среднюю концентрацию углеводородов в ГП, равную c

$$c = \frac{1}{H_{ГП}} \int_{y_c}^{H_{ГП}} (ay^n + b) dy = \frac{1}{H_{ГП}} \left[\frac{a}{n+1} (H_{ГП}^{n+1} - y_c^{n+1}) + b(H_{ГП} - y_c) \right]. \quad (13)$$

Знание распределения концентрации углеводородов в этой стадии необходимо для определения момента времени, когда начинается вторая стадия насыщения ГП, при которой концентрация углеводородов под кровлей больше нуля. Применительно к ней краевые условия имеют вид: $c(0) = c_\kappa$ и $c(H_{ГП}) = c_s$. Соответственно находим

$$a = \frac{c_s - c_\kappa}{H_{ГП}^n}; \quad b = c_\kappa. \quad (14)$$

Неизвестная мгновенная величина концентрации углеводородов под кровлей находится аналогично первой стадии, что дает

$$c_\kappa = \frac{c \cdot (n+1) - c_s}{n}, \quad (15)$$

где c – средняя концентрация углеводородов по высоте газового пространства резервуара.

Расчет изменения средней концентрации углеводородов в ГП подземной емкости ведется через значение плотности потока массы испаряющегося бензина для соответствующей технологической операции.

На основе представленной методики была разработана программа для исследования зависимости потерь бензинов из резервуаров АЗС.

Сравнение результатов расчета потерь по разработанной методике с экспериментальными данными приведено в табл. 1.

Таблица 1

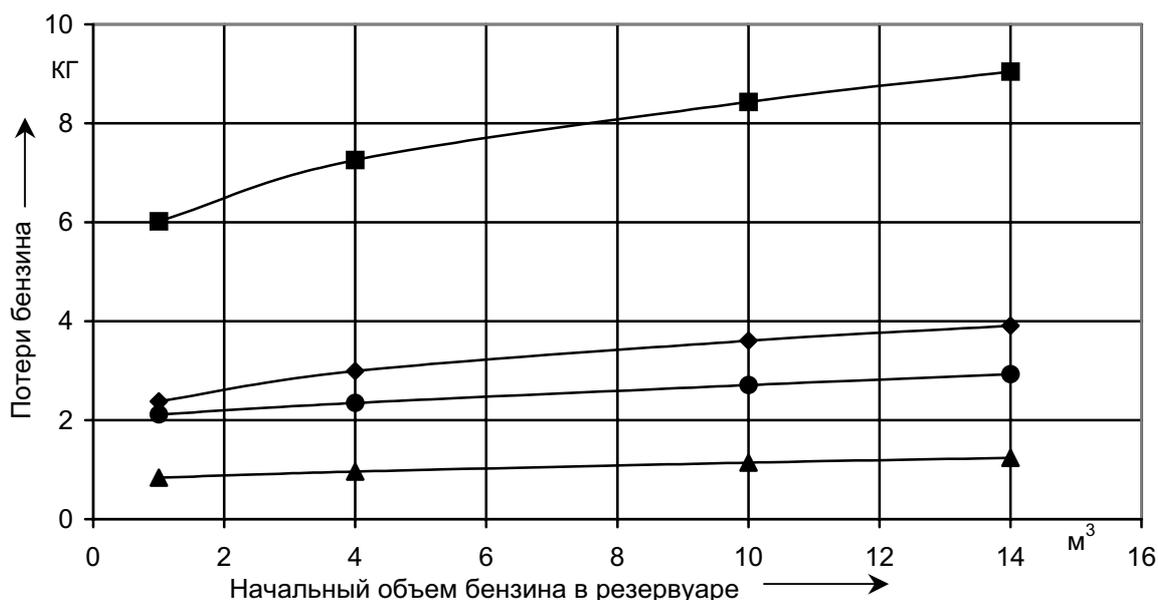
Результаты расчета потерь по экспериментальным данным
и разработанной методике

Дата	Время слива, мин.	$T_{б}, K$	$Q_{ПВС}, M^3/ч$	$c_{кв}, \%$	Потери экспериментальные $(G_{бд})_{э}, KГ$	Потери расчетные $G_{бд}, KГ$
Резервуар РГС 25, бензин А-76 ($V_{a/ц} = 10,5 M^3$)						
12.05.02	0	283	42,65	25,36		
	2			24,28	0,93	0,61
	5			23,78	1,37	1,32
	6			25,37	0,49	0,41
	7			25,17	0,48	0,43
	9			25,21	0,97	0,92
	11			24,65	0,95	0,93
	12			24,52	0,47	0,44
	13			24,17	0,47	0,43
	15			23,49	0,90	0,88
	17			22,91	0,88	0,86
					$\sum (G_{бд})_{э} = 7,92$	$\sum G_{бд} = 7,23$
Резервуар РГС 60, бензин Аи-95 ($V_{a/ц} = 10,5 M^3$)						
24.10.02	0	283	46,31	1,92		
	4			3,40	0,28	0,8
	8			4,62	0,39	0,73
	13			9,87	1,03	1,01
	16			15,20	0,95	0,43
	17			15,56	0,33	0,23
					$\sum (G_{бд})_{э} = 2,98$	$\sum G_{бд} = 3,2$

Среднеквадратическая погрешность расчета величины $G_{\text{до}}$ в целом за каждую операцию составляет 16,3 %, откуда следует, что разработанная методика позволяет адекватно оценивать величину потерь бензина от испарения при заполнении подземного резервуара типа РГС.

На основе разработанной программы была исследована зависимость потерь бензинов из резервуаров АЗС от различных факторов (температуры хранения бензина, номинального объема резервуара, объема принимаемых партий нефтепродуктов, а также начального взлива бензина в резервуарах). В результате расчетов по разработанной методике установлено следующее:

- 1) С увеличением остатка бензина в резервуаре потери от «большого дыхания» при закачке увеличиваются (для РГС 25 при увеличении остатка от 4 до 14 м³ в весенне-летний период – в среднем на 21,6 %, в осенне-зимний – в среднем на 21,2 %; для РГС 60 при увеличении остатка от 5 до 45 м³ в весенне-летний период – в среднем на 31,5 %, в осенне-зимний – в среднем на 31 %). Данное явление объясняется тем, что при одинаковом времени предшествующего простоя газовое пространство в резервуаре с большим остатком более насыщено парами углеводородов, соответственно концентрация углеводородов у дыхательного клапана при этом выше, вследствие чего при их заполнении теряется большее количество бензина (рис. 3).



—◆— $V_{a/c} = 4,6$ куб. м (лето); —■—
 —▲— $V_{a/c} = 4,6$ куб. м (зима); —●—

Рис. 3. Влияние остатка бензина в резервуаре РГС 60 на потери от «большого дыхания»

- 2) При увеличении объема слитого в резервуар бензина потери на единицу объема принятого продукта возрастают (так при сливе $10,5 \text{ м}^3$ вместо 4 м^3 в резервуар РГС 25 потери возрастают на 4 %, и при сливе $16,4 \text{ м}^3$ вместо $10,5 \text{ м}^3$ в резервуар РГС 60 потери возрастают на 10 %). Эта закономерность объясняется неравномерным распределением концентраций паров по высоте газового пространства, в результате чего при большем объеме слива происходит вытеснение из резервуара ПВС с большей концентрацией углеводородов (рис.3).
- 3) Потери в весенне-летний период времени превышают потери в осенне-зимний период (для резервуара емкостью 25 м^3 на 68 %, для 60 м^3 на 71 %), за счет более интенсивного испарения бензина при повышенных температурах (рис. 3).
- 4) При увеличении емкости резервуара потери на единицу объема принятого продукта при одинаковых начальной концентрации углеводородов в газовом пространстве и объеме закачки увеличиваются в весенне-летний период времени для резервуара емкостью 60 м^3 , по сравнению с резервуаром емкостью 25 м^3 , на 33,0 %, а в осенне-зимний период – на 24,5 %. Данное явление объясняется тем, что в резервуарах большей емкости происходит более значительное донасыщение газового пространства за счет испарившегося бензина, ввиду большей площади «зеркала» продукта (рис. 4).

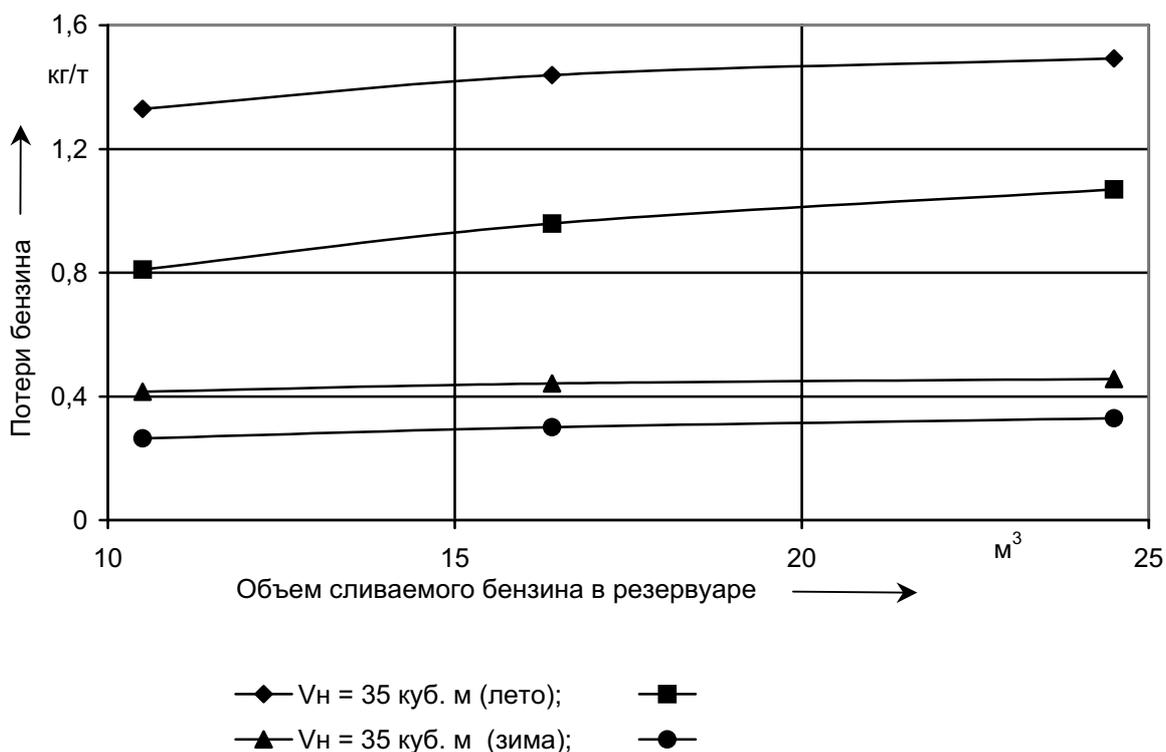


Рис. 4. Удельные потери от «большого дыхания» на единицу объема принятого бензина в резервуаре РГС 60 в зависимости от объема сливаемого бензина

В четвертой главе диссертации разработана система улавливания легких фракций для резервуаров АЗС.

Принципиальная схема предложенной системы улавливания легких фракций (УЛФ) для АЗС приведена на рис. 5. Она включает в себя подземные резервуары 1 с бензином и «транзитный» 2 с дизельным топливом, соединенные между собой газовой обвязкой 3, обратный клапан 4, узел ввода паровоздушной смеси (ПВС) 5 в «транзитный» резервуар и узел приема дизтоплива 6.

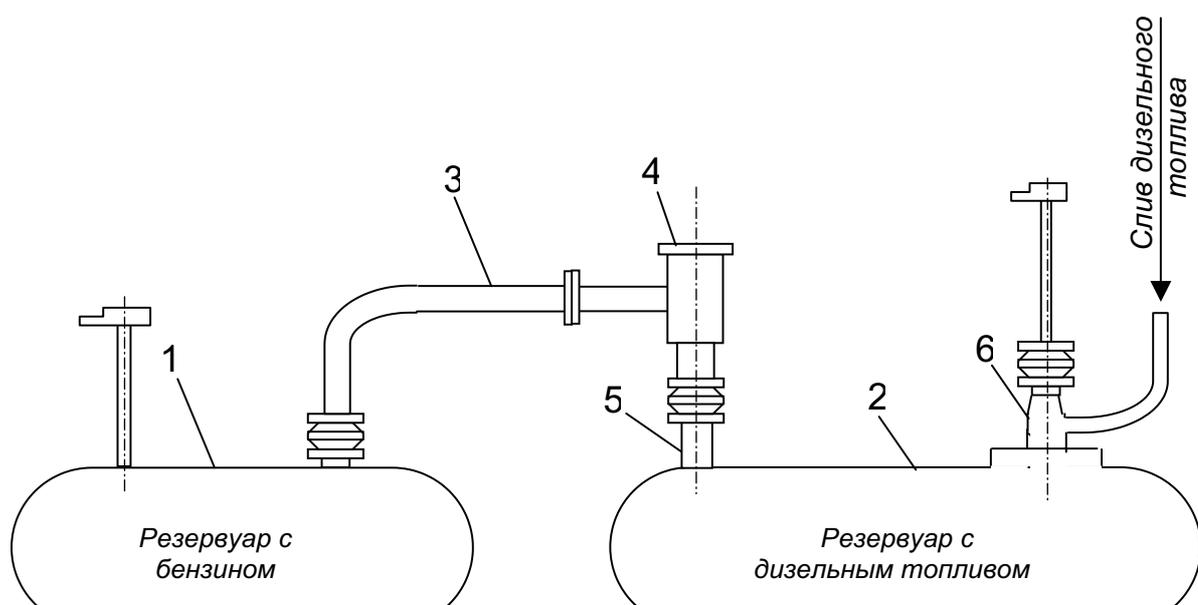


Рис. 5. Принципиальная схема системы улавливания легких фракций
«АЗС-ТР»

Принцип действия данной системы УЛФ основан на вытеснении в атмосферу паров дизельного топлива из «транзитного» резервуара парами бензина.

Система работает следующим образом. При заполнении резервуара 1 пары углеводородной ПВС из него по трубопроводу 3, на котором установлен обратный клапан 4, попадают в резервуар 2 с дизельным топливом. Конструкция узла ввода 5 обеспечивает распространение паров бензиновой ПВС непосредственно над поверхностью дизельного топлива. При этом пары бензиновой ПВС, будучи более тяжелыми, занимают нижнюю часть газового пространства и вытесняют в атмосферу пары ПВС дизельного топлива. Поскольку концентрация углеводородов в паровоздушной смеси резервуара с дизельным топливом существенно меньше, чем у резервуара с бензином, то при этом достигается значительное сокращение выбросов углеводородов в атмосферу.

Времени последующего хранения может оказаться недостаточно для полной абсорбции паров бензинов поверхностью дизельного топлива в резервуаре 2. Поэтому «транзитный» резервуар оборудуется специальным узлом приема 6, позволяющим при сливе дизельного топлива осуществлять абсорбцию паров бензина в противотоке газовой и жидкой фаз.

Для оценки эффекта сокращения потерь бензина с помощью системы УЛФ «АЗС-ТР» сначала были проведены лабораторные испытания на модельной емкости. Они показали достаточно высокую эффективность системы. Было установлено, что высокая степень сокращения потерь паров бензина при использовании «транзитного» резервуара с дизельным топливом имеет место при малых значениях отношения объема принимаемого бензина к объему газового пространства «транзитного» резервуара $V_{эс}/V_{эн}$.

Учитывая положительные результаты оценки эффективности применения системы улавливания легких фракций типа «АЗС-ТР» в лабораторных условиях, нами были проведены промышленные экспериментальные исследования на действующей АЗС в с. Кушнаренково Республики Башкортостан. Принципиальная схема промышленной

экспериментальной установки для исследования сокращения потерь при использовании системы улавливания легких фракций типа «АЗС-ТР» приведена на рис. 6.

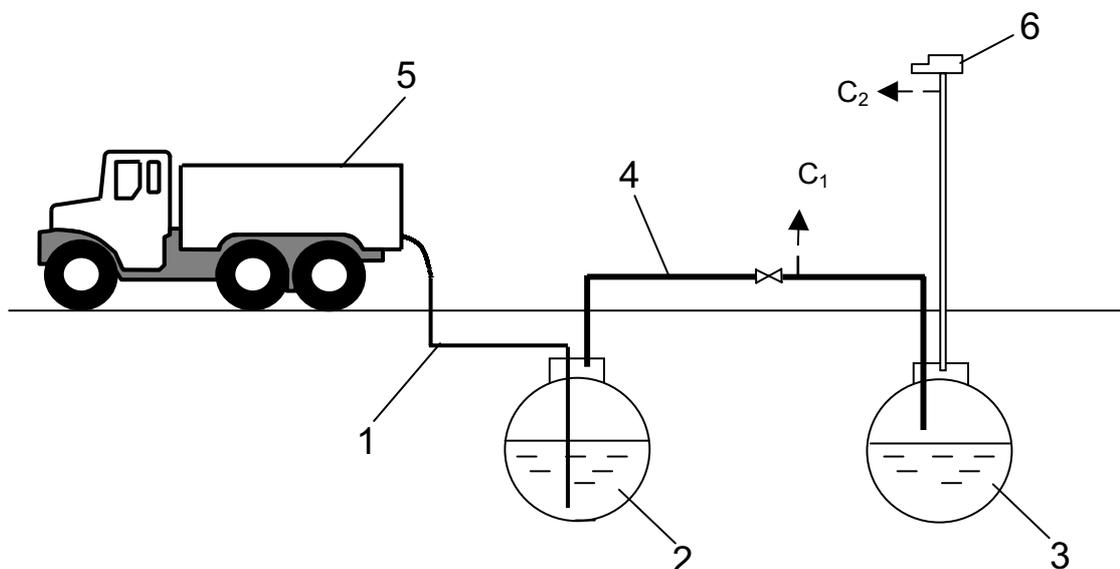


Рис. 6. Принципиальная схема промышленной экспериментальной установки для исследования сокращения потерь бензинов при использовании системы УЛФ типа «АЗС-ТР»:

1 – сливной трубопровод; 2 – резервуар с бензином; 3 – резервуар с дизельным топливом; 4 – трубопровод для паров бензина; 5- цистерна с бензином;

6 – дыхательный клапан

В ходе эксперимента при сливе цистерны с бензином газоанализатором ИГМ-034 производились замеры концентрации углеводородов в газовой смеси, выходящей из резервуара 2 с бензином c_1 , и из резервуара 3 с дизельным топливом c_2 .

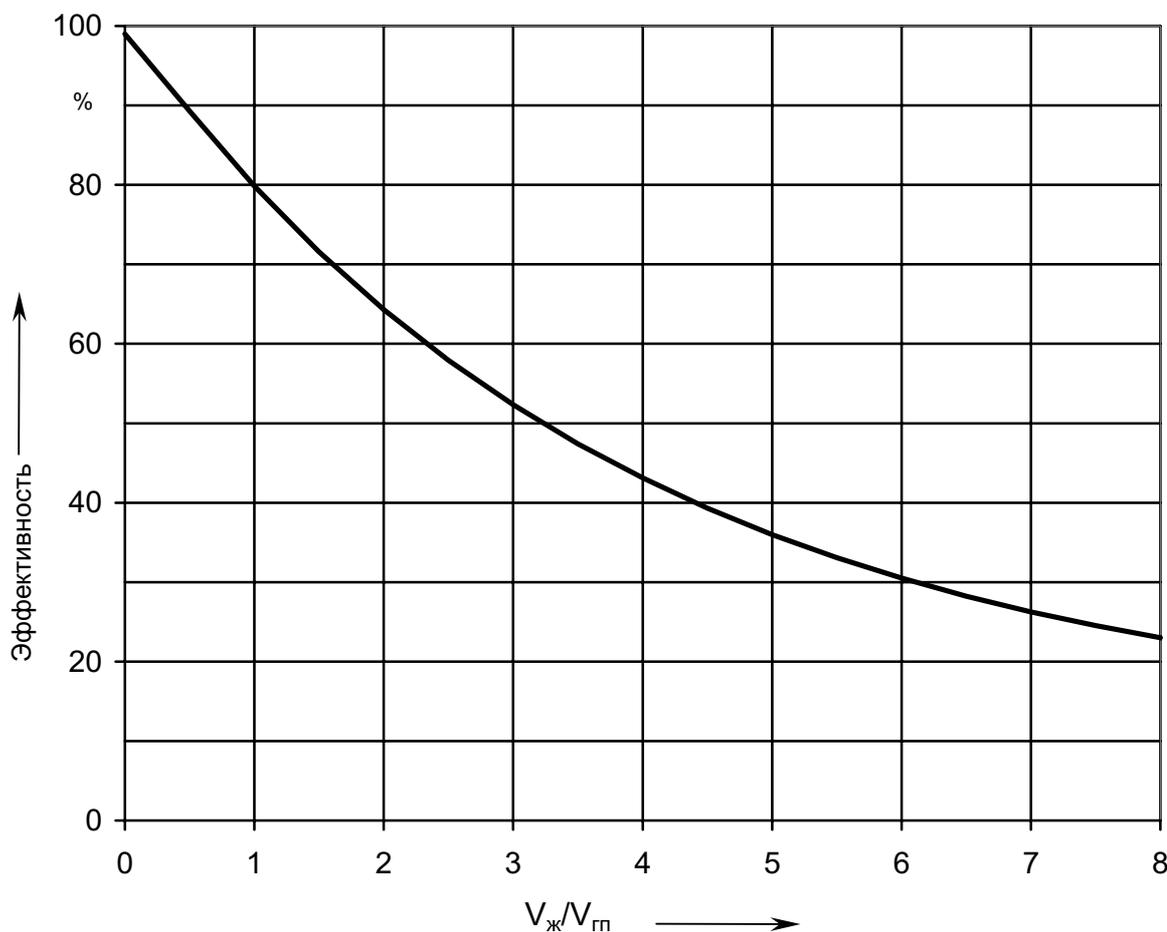
На основе обработки экспериментальных данных был построен график зависимости сокращения потерь бензинов от соотношения $V_{эс}/V_{zn}$ (рис. 7).

Испытания показали, что при тех же величинах $V_{эс}/V_{zn}$ эффект сокращения потерь бензина в реальных условиях больше, чем на лабораторной установке. Статистическая обработка данных показала, что ожидаемое среднее значение эффективности применения системы УЛФ в зависимости от отношения объема принимаемого бензина к объему газового пространства «транзитного» резервуара с дизельным топливом на данной АЗС составит 83,9 %.

Рис. 7. График достигаемого сокращения потерь бензинов в зависимости от соотношения $V_{жк}/V_{гп}$, полученный в результате обработки данных промышленных экспериментов

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. На основе экспериментального изучения процессов испарения бензинов получены критериальные уравнения массоотдачи в подземных горизонтальных цилиндрических резервуарах при операциях простоя и заполнения. Показано, что при неподвижном хранении процесс массоотдачи определяется величинами безразмерного модуля движущей



силы и числа Шмидта, а при заполнении – кроме выше названных, также комбинированным критерием $Re \cdot Fr$.

2. С использованием полученных критериальных уравнений массоотдачи предложена упрощенная методика прогнозирования потерь бензинов при операциях заполнения резервуаров типа РГС на АЗС. По сравнению с

ранее разработанными, данная методика учитывает турбулизацию жидкости при операциях приема бензина, превышение расхода ПВС над расходом закачки. Среднеквадратическая погрешность расчета величины потерь от «больших дыханий» по данной методике, по сравнению с экспериментальными данными, составляет 18,9 %.

3. Расчеты по предложенной методике показали, что в средней климатической зоне потери из подземных горизонтальных резервуаров составляют в среднем в весенне-летний период времени 1,18 кг на 1 т принятого бензина, и в осенне-зимний период – 0,37 кг на 1 т принятого бензина, что больше, чем определено в действующих «Нормах естественной убыли»: для весенне-летнего периода времени в среднем на 66 %, а для осенне-зимнего – на 5%. Кроме того, показано, что потери бензина из подземных резервуаров типа РГС тем выше, чем больше объем остатка бензина в резервуаре, объем принятого бензина, температура бензина, а также емкость резервуара при условии одинаковой начальной концентрации углеводородов в их газовом пространстве.
4. Предложена система улавливания легких фракций для резервуаров автозаправочных станций (типа «АЗС-ТР»). В ходе ее промышленных испытаний уменьшение выбросов паров углеводородов в атмосферу составляло от 30 до 99 %, в зависимости от уровня заполнения «транзитного» резервуара с дизельным топливом. На основе данных о динамике поступления бензинов на одну из АЗС Республики Башкортостан, а также об уровне заполнения резервуаров с дизельным топливом выполнена оценка среднего сокращения выбросов паров бензина за год. Установлено, что данная величина составляет 83,9 %.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Кулагин А.В. Разработка методики расчета и сокращения потерь бензина из резервуаров автозаправочных станций // Материалы республиканского конкурса научных работ студентов вузов (2000 г.): Сборник. – Уфа: Изд-во

- УГНТУ, 2000. – С. 62.
2. Кулагин А.В., Коршак А.А. Повышение экологической безопасности автозаправочных станций при сливе бензина в резервуар // Проблемы нефтегазовой отрасли: Материалы научно-методической конференции. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2000. – С. 195.
 3. Кулагин А.В., Коршак А.А. Разработка методик расчета и сокращения потерь бензина из резервуаров автозаправочных станций // Проблемы нефтегазовой отрасли: Материалы научно-методической конференции. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2000. – С. 196.
 4. Кулагин А.В., Коршак А.А. Повышение экологической безопасности АЗС // Проблемы совершенствования дополнительного профессионального и социогуманитарного образования специалистов ТЭК: Материалы межотраслевой научно-практической конференции. – Т.2. – Уфа, Государственное издательство научно-технической литературы «Реактив», 2001. – С. 192-193.
 5. Кулагин А.В., Коршак А.А. Разработка методики расчета потерь бензина из резервуаров автозаправочных станций // III Конгресс нефтегазопромышленников России. Секция Н «Проблемы нефти и газа» (г. Уфа, 23 – 25 мая 2001 г.): Научные труды. – Уфа: Государственное издательство научно-технической литературы «Реактив», 2001. - С. 252-253.
 6. Кулагин А.В., Коршак А.А. Анализ потерь бензинов из резервуаров автозаправочных станций // III Конгресс нефтегазопромышленников России. Секция Н «Проблемы нефти и газа» (г. Уфа, 23 – 25 мая 2001 г.): Научные труды. – Уфа: Государственное издательство научно-технической литературы «Реактив», 2001. - С. 253-254.
 7. Кулагин А.В., Коршак А.А. К расчету потерь нефти и нефтепродуктов из подземных емкостей // Трубопроводный транспорт нефти и газа: Материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2002 г. – С. 125 – 128.
 8. Кулагин А.В., Коршак А.А. Улавливание паров бензина при его приеме в резервуары автозаправочных станций // Трубопроводный транспорт нефти и газа: Материалы Всероссийской научно-технической конференции. –

Уфа: Изд-во УГНТУ, 2002 г. – С. 128 – 132.

9. Кулагин А.В., Коршак А.А. Сокращение потерь бензинов от испарения при его приеме в резервуары автозаправочных станций // Трубопроводный транспорт – сегодня и завтра: Материалы Международной научно-технической конференции. – Уфа: Монография, 2002 г. – с. 120 – 121.
10. Кулагин А.В., Коршак А.А. Методика расчета потерь бензинов из подземных горизонтальных резервуаров АЗС // Нефтегазовое дело, 2003. - http://www.ogbus.ru/authors/Kulagin/Kulagin_2.pdf. - 6 с.
11. Кулагин А.В., Коршак А.А. Улавливание паров бензина при его приеме в резервуары автозаправочной станции // Нефтегазовое дело, 2003. - http://www.ogbus.ru/authors/Kulagin/Kulagin_1.pdf. - 5 с.
12. А.М. Шаммазов, А.А. Коршак, А.В. Кулагин и др.. Расчет потерь бензинов от испарения из резервуаров типа РВС и РГС: Учебное пособие. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2003. – 66 с.